

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Рабушко П.С., Чуприков Т.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Новаш И.В.

Цифровое моделирование в реальном времени современных электроэнергетических систем становится неотъемлемой частью нашей повседневной исследовательской деятельности. Невозможно представить разработку современных преобразователей напряжения (VSC) или даже многомодульных преобразователей без использования данного метода. Оптимизация (задание) уставок устройств защиты комплексных линии в современных сетях без цифрового моделирования невозможна или представляет собой, по крайней мере, чрезвычайно трудоемкий процесс. В работе перечислены некоторые наиболее важные сферы применения цифрового моделирования энергосистем в реальном времени.

Устройства релейной защиты были первыми пользователями цифрового моделирования замкнутого цикла в реальном времени (CLRTDS). Сегодня практически невозможно представить реализацию современных интеллектуальных устройств защиты и управления сетей со сложной конфигурацией без проверки этих устройств, оптимизации их уставок и конфигураций без помощи CLRTDS.

Требования, предъявляемые к современной защите линии, очень высоки. Предполагается отключать поврежденные фазы и сохранять всю линию в работе до тех пор, пока две различные фазы двухцепной параллельно работающей линии остаются неповрежденными (так называемое многофазное отключение). Пример использования комплекса RTDS, работающего на двухцепной параллельно работающей линии со сложными отключениями приведен на рисунке 1.

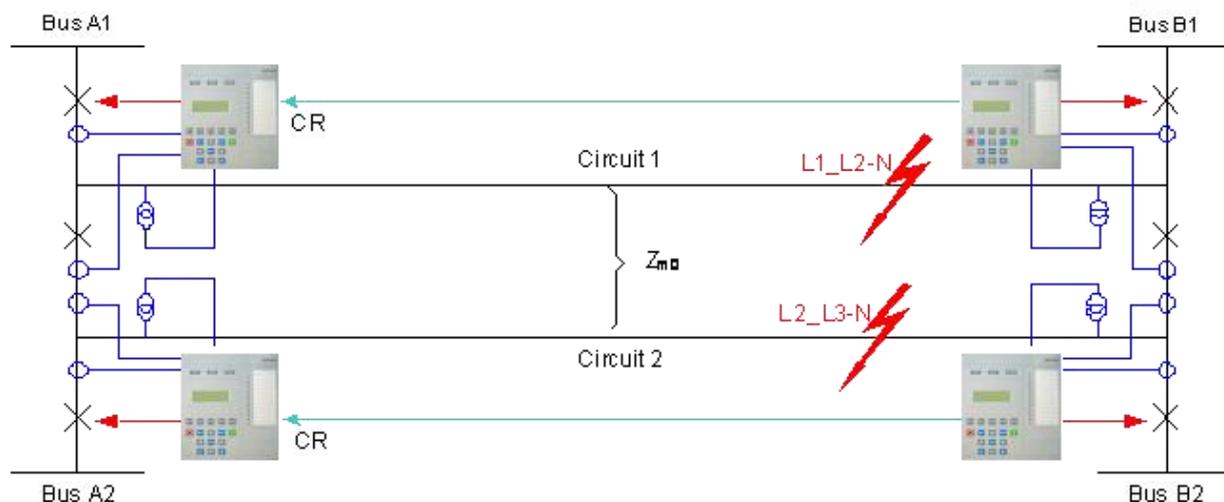


Рисунок 1. Двухцепная параллельно работающая линия со сложными КЗ, многополюсным отключением и адаптивным АПВ

Автоматическое повторное включение (АПВ) должно быть адаптивным на пофазной основе. Все вышесказанное требует тщательного изучения, моделирования различных режимов КЗ (внутренних и внешних), а также точной настройки уставок защиты. Вполне возможно, что проверяться будут не только реле защиты, но и все панели защиты на каждом конце линии. После этого они будут установлены на объекте и введены в работу.

Разработка защиты и автоматики энергосистем за последнее десятилетие сделала значительный шаг вперед, хотя еще большие изменения ожидают нас впереди.

Существует ряд компаний по всему миру, которые сформулировали свои требования к сертификации и методике испытаний для различных типов устройств защиты. Большая часть испытаний, которые должно (независимо от производителя) пройти сертифицируемое

устройство, осуществляется на стандартизованных моделях системы при помощи CLRTDS. Кроме того, для ряда специальных проектов, в особенности применительно к системам сверх- и ультравысокого напряжения, выполняются проектно-ориентированные испытания.

В настоящее время синхрофазоры в энергосистеме используются не только для глобального мониторинга. Все больше энергокомпаний переходят на противоаварийную автоматику (SIPS) на базе синхрофазоров, получающих информацию из всей энергосистемы. Современные CLRTDS используются для моделирования крупных систем и обеспечивают в реальном времени передачу значений из различных точек наблюдений непосредственно в подключенные концентраторы данных. Таким образом, разработчики получают возможность тестировать в оперативном режиме свои алгоритмы по контролю устойчивости системы и аварийному контролю. Интеграция различного программного обеспечения, имеющегося в распоряжении синхрофазоров сегодня, в средства моделирования системы дает пользователю возможность:

- наглядно представить и проанализировать сигналы на достоверность;
- проверить работоспособность в смоделированных условиях посредством анализа и визуализации результатов;
- оценить функционирование сети на основании количественных показателей энергосистемы, включая разность фаз, нагрузку электрической сети, межзональные и локальные колебания, чувствительность по напряжению и частотную характеристику.

Тестирование и оптимизация параметров различного оборудования управления в энергосистеме при помощи CLRTDS на сегодняшний день является стандартным подходом во многих энергетических компаниях по всему миру. На рисунке 2 показан типовой пример статического возбудителя, применяемого для контроля напряжения генератора мощности. Аналогичный подход применяется и для стабилизатора энергетической системы (PSS) и управления регулятором частоты вращения.

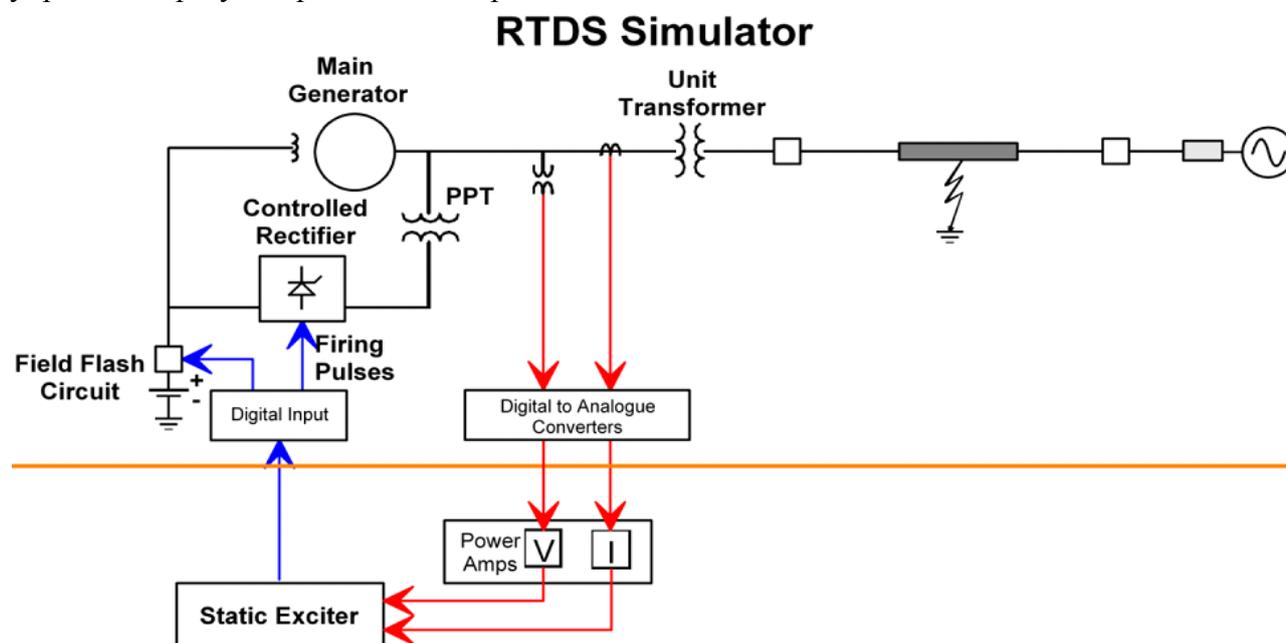


Рисунок 2. Тестирование регулятора возбуждения

Аналогичный подход используется также для разработки и тестирования контроллеров, используемых в устройствах силовой электроники. В этом случае можно рассмотреть следующие примеры:

- установки постоянного тока высокого напряжения на базе классических тиристорных схем с использованием алгоритмов отпирания или 2-, 3- и многоуровневых схем на базе преобразователя напряжения с использованием подсетей с небольшими интервалами времени;
- статический компенсатор реактивной мощности (SVC);

- тиристорно-управляемая продольная компенсация (TCSC);
- статический компенсатор с 2-, 3- и многоуровневыми схемами на базе преобразователя напряжения с использованием подсетей с небольшими интервалами времени и т. д.

Типовой временной шаг для таких случаев обычно составляет не более 2–5 мкс.

Особую задачу для моделирования замкнутого цикла в реальном времени представляют в этом смысле многомодульные преобразователи (MMC), получающие все большее распространение в HVDC и FACTS. В этом случае необходимо правильно представить свыше 500 подмодулей на вентиль или более 3000 на станцию HVDC в целом.

Управление каждым подмодулем должно осуществляться с микросекундным интервалом времени. Такие модули применяются для детальной разработки систем управления и заводских приемочных испытаний, когда требуется физическое подключение к внешним органам управления импульсом возбуждения. Модель должна также поддерживать различные внутренние КЗ для всесторонней проверки управления.

Последние разработки энергосистем в значительной степени отличаются от тех, которыми мы пользовались в прошлом. Возобновляемые источники энергии, распределенная генерация, активно-адаптивная сеть вносят множество изменений в работу системы, защиту и управление. Практически невозможна дальнейшая разработка таких систем без предварительного анализа, который на заключительных этапах должен обязательно включать в себя моделирование в реальном времени. Все это требует дополнительной работы по развитию самих симуляторов. Надежная и высокоскоростная передача данных является важной составляющей активно-адаптивной сети и является обязательным условием для симуляторов в реальном времени, чтобы обеспечить их коммутационные возможности.

Кроме того, обязательно использование точных моделей различных ветряных генераторов, источников солнечной энергии, топливных элементов и соответствующих силовых электронных преобразователей. Нельзя забывать о грядущей эре электромобилей, для которых необходимы надежные системы хранения и средства преобразования постоянного тока.

На сегодняшний день два больших энергетических предприятия установили так называемые крупномасштабные цифровые симуляторы реального времени: KEPCO в Корее и Энергосистема Южного Китая (CSG) в Китае. Основные преимущества использования таких симуляторов заключаются в эффективности реального времени: реализуется большее число сценариев в течение меньшего времени, что приносит больший объем информации и лучшее понимание. Частотная характеристика при помощи одного единственного инструмента дает возможность наблюдать за работой в пределах всего спектра частот, куда входят также все аспекты защиты и управления. Обеспечивается сплошной контроль энергосистемы с непосредственным взаимодействием с энергосистемой можно моделировать только или при условии подключения внешнего оборудования

Энергосистема Южного Китая признала свои LSRTDS в качестве одной из четырех ключевых стратегий обеспечения безопасности и надежности единой энергосистемы. Сильный ледяной дождь в 2008 году привел к значительным повреждениям сети 110 кВ. Свыше 7000 линий было повреждено, и миллионы потребителей остались без электроэнергии. Инженеры Энергосистемы Южного Китая работали круглые сутки для того, чтобы смоделировать систему в исходном виде (том виде, в котором она была до разрушения) и использовали симуляторы для управления восстановлением системы.

С увеличением сложности энергосистемы методы обучения и изучения на различных этапах обучения идут в ногу с развитием и предлагают студентам новые инструменты и методы, которые позволят им лучше подготовиться к решению сложных задач при их самостоятельной работе. Многие университеты уже отметили потребность в моделировании студентом систем и событий в реальном времени и подготовили для своих студентов полный курс лекций с различными характерными примерами.

Различные энергопредприятия по всему миру признали необходимость всестороннего обучения своего персонала при введении новых технологий в энергосистеме, поскольку не могут полностью зависеть от каждого конкретного поставщика. Кроме того, возникает потребность в изучении и анализе различных событий в ходе работы системы, а также необходимость в изменении со временем некоторых параметров. Именно поэтому в практику входит заказ цифрового симулятора реального времени одновременно с приобретением готового проекта.

Кроме вышеперечисленных вариантов комплексы RTDS могут использоваться с целью исследований и разработок систем судовой и корабельной электроэнергетики, для моделирования сетей железнодорожного транспорта (схем питания, фидеров и их защит, сетей постоянного тока, выпрямительных и тяговых подстанций), тягового привода.

На данный момент системы моделирования в реальном времени имеют довольно широкое распространение в мире. Поставлено около 250 комплексов, состоящих из более чем 1100 вычислительных кассет в 36 стран мира, в том числе 8 из них в Россию. На территории Беларуси подобных комплексов не имеется, однако проводятся семинары о целесообразности их приобретения.

Литература

1. Рябов, В.А. Цифровое моделирование электромеханических процессов в режиме реального времени / В.А. Рябов // Новости электротехники. – 2012. – № 4. – С. 18–23.
2. Технический обзор комплекса RTDS [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <http://www.enlab.ru/rus/product/15>. – Дата доступа : 17.05.2018.
3. Перспективы использования современных цифровых симуляторов энергетических систем [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа : <http://www.энергетик.бел/index.php?newsid=976>. – Дата доступа : 03.04.2018.
4. Жуков, А.В. Использование программно-аппаратного комплекса RTDS для анализа функционирования автоматических регуляторов возбуждения : монография / А.В. Жуков, Е.И. Сацук. – М. : МЭИ, 2004. – 432 с.
5. Наумов, В.А. Моделирование оборудования энергосистемы на аппаратно-программном комплексе RTDS для испытания устройств РЗА : монография / В.А. Наумов, Ф.Л. Коган. – СПб. : НПП ЭКРА, 2011. – 586 с.